

日 本 国 特 許 , 10/1
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 8月30日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-252397

[ST.10/C]:

[JP 2002-252397]

出 願 人

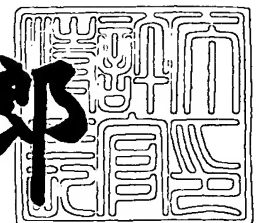
Applicant(s):

富士写真フイルム株式会社

2003年 4月15日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3027746

【書類名】 特許願

【整理番号】 500860

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 A61B 8/00

G01H 9/00

G01S 15/02

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

【氏名】 小川 英二

【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

【代理人】

【識別番号】 100100413

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡部 温

【選任した代理人】

【識別番号】 100110777

【弁理士】

【氏名又は名称】 宇都宮 正明

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033189

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9909552

【包括委任状番号】 0000020

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 超音波受信装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ブロードバンド光を発生する光源と、
印加される超音波に基づいて、前記光源が発生した光を変調して反射する超音波検出手段と、

前記超音波検出手段から反射された光を波長に応じて異なる方向に出射する分光手段と、

前記分光手段によって分光された光を複数の波長成分ごとに検出する複数の光電変換素子を有する第 1 の光検出手段と、

前記第 1 の光検出手段の検出結果に基づいて、前記分光手段によって分光された光に含まれる所定の波長成分を検出する第 2 の光検出手段と、
を具備する超音波受信装置。

【請求項 2】 前記第 1 の光検出手段の検出結果に基づいて、前記分光手段によって分光された光に含まれる所定の波長成分が前記第 2 の光検出手段に入射するように、前記分光手段と前記第 2 の光検出手段との間の光学的経路を調整する調整手段をさらに具備する請求項 1 記載の超音波受信装置。

【請求項 3】 前記調整手段が、前記分光手段の角度を調整する、請求項 2 記載の超音波受信装置。

【請求項 4】 前記分光手段によって分光された光を反射するミラーをさらに具備し、

前記調整手段が、前記ミラーの角度を調整する、
請求項 2 記載の超音波受信装置。

【請求項 5】 前記分光手段が、前記超音波検出手段の複数の検出領域から導かれた複数の光線をそれぞれ並列に分光し、

前記第 1 の光検出手段が、前記分光手段によって分光された複数の光線を、それぞれの波長成分ごとに検出し、

前記第 2 の光検出手段が、前記第 1 の光検出手段の検出結果に基づいて、前記分光手段によって並列に分光された光にそれぞれ含まれる所定の波長成分を並列

に検出する、

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項記載の超音波受信装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、超音波を受信することにより超音波画像を得るために用いられる超音波受信装置に関する。なお、本願において、反射特性とは、波長に対する反射強度の関係を示すものをいう。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

近年、超音波を用いて高品位な 3 次元画像を取得するために、センサアレイを機械的に移動させることなく 2 次元画像を取得できる 2 次元センサの開発が進められている。

従来より、超音波の送信及び受信に用いられる素子（振動子）として、P Z T（チタン酸ジルコン酸鉛：Pb(lead) zirconate titanate）に代表される圧電セラミックや、P V D F（ポリフッ化ビニリデン：polyvinyl difluoride）に代表される高分子圧電素子を含む圧電素子が一般的に用いられてきた。しかしながら、これらの素子を用いて 2 次元センサアレイを作製する場合には、素子の微細加工と、多数の微細素子への配線が必要であり、現状以上の微細化と素子集積は困難である。また、それらが解決されたとしても、素子間のクロストークが増大したり、微細配線による電氣的インピーダンスの上昇により S N 比が劣化したり、微細素子の電極部が破壊し易くなるといった問題があるので、P Z T や P V D F を用いた 2 次元センサアレイの実現は困難である。

【 0 0 0 3 】

このような問題を回避するために、受信した超音波信号を光信号に変換して検出する方式のセンサも研究されている。このような光検出方式の超音波センサとして、ファイバブラッググレーティング（F B G と略称）を用いるもの（例えば、非特許文献 1 参照。）や、ファブリーペロー共振器（F P R と略称）構造を用いるもの（例えば、非特許文献 2 参照。）が報告されている。このような超音波

センサを用いて 2 次元センサアレイを作製すると、多数の微細素子への電氣的配線が不要で、且つ、良好な感度が得られるという利点がある。

【 0 0 0 4 】

また、2 次元の検出面を有する光検出方式の超音波センサとして、ファブリーペロー構造を有するポリマー膜を超音波の検出に用いることも提案されている（非特許文献 3 参照。）。このような膜状の超音波センサは、多数の微細素子に対する加工が不要であるために、コストを抑制することができる。光検出方式の超音波センサは、超音波を受けて光の反射特性が変化する超音波検出素子を利用したものである。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、このような超音波検出素子においては、温度や湿度の変化によって光の反射特性が変化するため、検出感度のバラツキが大きい。また、2 次元検出面を有する超音波検出素子においては、検出面の各位置によって光の反射特性が異なり、検出感度のバラツキが生じてしまう。このように、光検出方式を用いた超音波受信装置においては、温度等の環境的要因や構造的要因による検出感度の変化を制御することが、実用上の大きな問題である。このために、例えば、光源から出射される光の波長を、超音波検出素子の感度が高くなる点に調整することが考えられるが、非常に急峻な反射特性に対して光源光の波長を合わせ込むのは困難である。一方、ブロードバンド光を、位置に応じて異なる反射特性を有する超音波検出素子に入射し、反射光をフィルタ分離する方式も考えられるが、この場合には、超音波検出素子の構成が複雑になり、コストが高くなるという問題がある。さらに、超音波検出素子の検出領域ごとに反射特性を変化させる方式も考えられるが、この場合にも超音波検出素子の構成が複雑になり、やはり、コストが高くなってしまう。

【 0 0 0 6 】

【非特許文献 1】

タカハシ ノブアキ（防衛大），「ファイバーブラッググレーティングを用いた水中アコースティックセンサ (Underwater Acoustic Sensor with Fiber Bragg Grating)」，オプティカル レビュー (OPTICAL REVIEW)，Vol. 4, No

. 6 (1997), p. 691-694

【非特許文献 2】

ウノ ヤスト (東工大), 「メガヘルツ超音波領域測定のためのファイバーオプティックマイクロプローブの製作と成果 (Fabrication and Performance of a Fiber Optic Micro-Probe for Megahertz Ultrasonic Field Measurement)」, 電学論 E (T. IEE Japan), 118 巻 11 号, 平成 10 年, p.487-492

【非特許文献 3】

ベアード (Paul C. Beard) (University College London), 「広帯域な超音波検出のためのファブリーペローポリマーフィルムのトランスダクションメカニズム (Transduction Mechanisms of the Fabry-Perot Polymer Film Sensing Concept for Wideband Ultrasound Detection)」, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control, Vol. 46, No. 6, November 1999, p.1575-1582

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、光検出方式を用いた超音波受信装置において、温度等の環境変化による超音波検出感度の変化や、超音波検出素子の位置による検出感度のバラツキを低減すると共に、超音波を受信する際のリアルタイム性を維持しつつコストダウンを図ることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

以上の課題を解決するため、本発明に係る超音波受信装置は、ブロードバンド光を発生する光源と、印加される超音波に基づいて、光源が発生した光を変調して反射する超音波検出手段と、超音波検出手段から反射された光を波長に応じて異なる方向に出射する分光手段と、分光手段によって分光された光を複数の波長成分ごとに検出する複数の光電変換素子を有する第 1 の光検出手段と、第 1 の光検出手段の検出結果に基づいて、分光手段によって分光された光に含まれる所定の波長成分を検出する第 2 の光検出手段とを具備する。

【0009】

本発明によれば、超音波検出手段において反射された光を分光して異なる光電変換素子に入射させることにより、超音波検出素子の反射特性を求めることができる。また、その反射特性に基づいて、超音波を受信する際に用いる光電変換素子を予め選択することにより、最適な波長を有する光に基づいて検出信号を得ることができる。さらに、超音波検出素子の反射特性を求める際と、超音波を受信する際とにおいて異なる素子を用いることにより、目的に応じて最適な光電変換素子及び処理回路を適用することができるので、超音波を受信する際のリアルタイム性を維持しながら、装置全体としてコストダウンを図ることができる。

【 0 0 1 0 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、同一の構成要素には同一の参照番号を付して、説明を省略する。

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置の構成を示すブロック図である。また、図 2 は、図 1 に示す超音波受信装置の光学系を示す模式図である。図 1 に示すように、この超音波受信装置は、光源 1 0 と、分波器 1 1 と、コリメートレンズ 1 2 a 及び 1 2 b と、超音波検出素子 2 0 と、分光器 3 0 と、分光器角度調整部 3 1 と、キャリブレーション用光電変換器 4 0 と、信号検出用光電変換器 5 0 とを有している。

【 0 0 1 1 】

光源 1 0 は、超音波を検出するために用いられるブロードバンド光を発生する。光源 1 0 としては、超音波検出素子 2 0 が有する反射特性の傾斜帯域以上の範囲をカバーできる帯域幅を有するものを用いることが望ましい。このような光源として、LED（発光ダイオード）、SLD（スーパーluminescent diode）、ASE（amplified spontaneous emission）光源、若しくは、線幅の比較的大きいLD（レーザダイオード）等のブロードバンド光源が挙げられる。

【 0 0 1.2 】

光源 1 0 と分波器 1 1 との間にはコリメートレンズ 1 2 a が配置されている。コリメートレンズ 1 2 a は、光源 1 0 から出射する光を平行光にして分波器 1 1 に入射させる。

分波器 1 1 は、光源 1 0 から出射してコリメートレンズ 1 2 a を通過した光を超音波検出素子 2 0 に導くと共に、超音波検出素子 2 0 によって反射されて戻ってきた光を分光器 3 1 に導く。分波器 1 1 は、例えば、ハーフミラー、光サーキュレータ、又は、偏光ビームスプリッターによって構成される。本実施形態においては、図 2 に示すように、分波器 1 1 としてハーフミラーを用いている。ハーフミラーは、入射光を入射方向の反対方向に透過させ、入射方向の反対方向から戻ってくる光を、入射方向とほぼ 90° をなす方向に反射する。

【 0 0 1 3 】

超音波検出素子 2 0 は、光検出方式によって超音波を検出する 2 次元センサである。本実施形態においては、超音波検出素子 2 0 として、2 次元の超音波受信面 2 0 a を有する多層膜センサを用いている。超音波検出素子 2 0 は、光源 2 0 から出射され、分波器 1 1 を通過して入射した光を、超音波受信面 2 0 a の各位置に印加される超音波に基づいて変調して反射する。超音波検出素子 2 0 の構造及び動作については、後で詳しく説明する。

【 0 0 1 4 】

ここで、図 2 に示すように、分波器 1 1 を通過した光は、光伝送路 1 3 を通って超音波検出素子 2 0 に入射する。光伝送路 1 3 としては、多数（例えば、1 0 2 4 本）の光ファイバを束ねたバンドルファイバ等が用いられる。図 2 には、1 ライン上に配列された光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ が示されている。図 1 に示すように、多数の光ファイバは、超音波検出素子側（図中左側）においては受信面の形状（例えば、円状）に合わせて束ねられ、分波器 1 1 側（図中右側）においては、1 ライン上に配列される。或いは、1 ライン上に配列された光ファイバを、複数段に重ねても良い。

【 0 0 1 5 】

光伝送路 1 3 の先端部は、コリメート部 1 4 を介して超音波検出素子 2 0 に、光軸を合わせて接続されている。コリメート部 1 4 としては、例えば、コリメートレンズがアレイ化されたコリメートレンズアレイが用いられる。光伝送路 1 3 及びコリメート部 1 4 の構成については、後で詳しく説明する。

また、分波器 1 1 と光伝送路 1 3 との間には、コリメートレンズ 1 2 b が配置

されている。コリメートレンズ 1 2 b は、超音波検出素子によって反射され、光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ から出射した光を平行光にして分波器 1 1 に入射させる。

【 0 0 1 6 】

分光器 3 0 は、回折格子、プリズム、又は、AWG（アレイ導波路格子）等によって構成された複数の分光素子 $S_1 \sim S_M$ を含んでいる。これらの分光素子 $S_1 \sim S_M$ は、光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ から出射される光線 $L_1 \sim L_M$ がそれぞれ入射するように配置されている。各分光素子は、入射する光線を分光し、波長に応じて異なる方向に出射する。

【 0 0 1 7 】

図 1 に示す分光器角度調整部 3 1 は、超音波検出素子 2 0 から反射されたブロードバンド光の内、所定の波長成分が信号検出の対象となるように光学系を調整する。即ち、分光器角度調整部 3 1 は、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の検出結果に基づいて、所定の波長を有する分光光が信号検出用光電変換器 5 0 に入射するように、複数の分光素子 $S_1 \sim S_M$ の角度をそれぞれ調整する。ここで、図 3 には、分光器角度調整部 3 1 の制御により、所定の波長を有する分光光が信号検出用光電変換器 5 0 に入射している様子が示されている。

【 0 0 1 8 】

キャリブレーション用光電変換器 4 0 は、超音波を受信する前に行われるキャリブレーションにおいて用いられる光検出器である。ここで、キャリブレーションとは、その時々超音波検出素子 2 0 の反射特性を測定し、検出信号として採用する波長成分を選択する作業のことをいう。キャリブレーション用光電変換器 4 0 としては、複数の光電変換素子が 2 次元に配列され、入射光を位置ごとに分割して検出することができる 2 次元センサアレイが用いられる。このような 2 次元センサアレイとして、例えば、PDA（フォトダイオードアレイ）や、MOS 型センサを用いることができる。或いは、CCD（charge coupled device）等のプログラマブルな 2 次元センサを用いても良い。キャリブレーション用光電変換器 4 0 は、超音波を受信する時には用いられないので、処理能力が比較的低速なものでも適用することができる。

【 0 0 1 9 】

キャリブレーション用光電変換器 4 0 の光電変換素子は、分光素子 $S_1 \sim S_M$ によって分光された分光光が第 1 列～第 M 列にそれぞれ入射するように配置されている。また、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の各列において、光電変換素子は、対応する分光素子によって分光された分光光が波長に応じて第 1 行～第 N 行に入射するように配置されている。このように光電変換素子を配置することにより、例えば、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の第 n 行第 m 列に位置する光電変換素子から検出される信号は、光ファイバ OF_m から出射した光線 L_m に含まれる波長 λ_n を有する成分であると特定される。

【 0 0 2 0 】

信号検出用光電変換器 5 0 は、超音波を受信する時に用いられる光検出器である。信号検出用光電変換器 5 0 としては、例えば、複数の PD が 1 次元に配列された PDA が用いられる。信号検出用光電変換器 5 0 は、リアルタイムで超音波信号を受信するために、高速の信号処理能力を有していることが望ましい。図 2 に示すように、信号検出用光電変換器 5 0 に含まれる複数の光電変換素子は、キャリブレーション用光電変換素子 4 0 の複数の列にそれぞれ対応して配置されている。また、図 3 に示すように、超音波を受信する時には、分光光角度調整部 3 1 の制御によって検出素子 $S_1 \sim S_M$ の角度が調整され、それぞれの光線 $L_1 \sim L_M$ について、キャリブレーションによって選択された分光光が信号検出用光電変換器 5 0 の対応する光電変換素子に入射する。

【 0 0 2 1 】

さらに、信号検出用光電変換器 5 0 の後段には信号処理系統が設けられており、信号検出用光電変換器 5 0 によって検出された信号の強度変化が、超音波検出素子に印加された超音波の振幅に変換される。

【 0 0 2 2 】

次に、図 4 を参照しながら、超音波検出素子 2 0 の構造及び超音波の検出原理について詳しく説明する。超音波検出素子 2 0 は、基板 2 1 と、該基板の上に積層された多層膜 2 2 とを含む多層膜センサである。

【 0 0 2 3 】

基板 2 1 は、超音波を受信することによって歪む膜状の基板であり、例えば、

直径 2 c m の円と同等か、それ以上の面積を有している。基板 2 1 には、異なる屈折率を有する 2 種類の材料層を交互に積層することにより、ブラッググレーティング構造を有する多層膜 2 2 が形成されている。図 4 には、屈折率 n_1 を有する材料層 A と、屈折率 n_2 を有する材料層 B とが示されている。

【 0 0 2 4 】

多層膜 2 2 の周期構造のピッチ（間隔）を d とし、入射光の波長を λ とすると、ブラッグの反射条件は次の式で表される。ただし、 m は任意の整数である。

$$2 d \cdot \sin \theta = m \lambda \quad \cdots (1)$$

ここで、 θ は入射面から測った入射角であり、 $\theta = \pi / 2$ とすると次の式のようにになる。

$$2 d = m \lambda \quad \cdots (2)$$

ブラッググレーティングは、ブラッグの反射条件を満たす特定の波長の光を選択的に反射し、その他の波長の光を透過させる。

【 0 0 2 5 】

超音波検出素子 2 0 に超音波を伝搬させると、超音波の伝搬に伴い超音波検出素子 2 0 が歪み、多層膜 2 2 の各位置において周期構造のピッチ d が変化する。これに伴い、選択的に反射される光の波長 λ が変化する。ブラッググレーティングの反射特性においては、最も反射率の高い（透過率の低い）中心波長の前後に反射率の変化する傾斜帯域があり、この傾斜帯域の範囲に中心波長を有する光を多層膜 2 2 に入射させながら超音波を加える。すると、受信面の各位置における超音波の強さに応じた反射光（又は透過光）の強度変化を観測できる。この光の強度変化を超音波の強度に換算することにより、超音波の 2 次元強度分布情報を取得できる。

【 0 0 2 6 】

基板 2 1 の材料としては、石英ガラス (SiO_2) や BK 7 (シヨット社の製品) 等の光学ガラス等が用いられる。また、材料層 A 及び B に用いられる物質としては、屈折率が互いに 1 0 % 以上異なる物質の組み合わせが望ましい。これには、例えば、 SiO_2 と酸化チタン (Ti_2O_3) との組み合わせや、 SiO_2 と酸化タンタル (Ta_2O_5) との組み合わせ等が挙げられる。材料層 A 及び B は、基

板 2 1 上に、真空蒸着やスパッタリング等の方法によって形成される。

【 0 0 2 7 】

ところで、超音波の多重反射を抑制するためには、超音波が伝搬する距離を長くすることが有効である。超音波は伝搬する間に少なからず減衰し、伝搬距離が長いほど減衰量は多くなる。そこで、十分な伝搬距離を取れば、一端に伝搬した超音波が他端において反射して戻る間に、超音波を十分に減衰させることができる。このため、本実施形態においては、光伝送路として光ファイバを用い、受信した超音波を光ファイバに伝搬させている。即ち、光伝送路に、光を通過させる機能と共に超音波を減衰させるバッキング部としての機能を持たせている。

【 0 0 2 8 】

図 5 は、図 2 に示す光伝送路 1 3、コリメート部 1 4、及び、超音波検出素子 2 0 の一部を拡大して示す断面図である。図 5 に示すように、光伝送路（バンドルファイバ） 1 3 に含まれる光ファイバ OF_1 、 OF_2 、…は、コリメート部（コリメートレンズアレイ） 1 4 に含まれる複数のコリメートレンズ 1 4 a に、それぞれ光軸を合わせて接続され、さらに、超音波検出素子 2 0 に 2 次元的に配置されて接続されている。光ファイバ OF_1 、 OF_2 、…は、接着剤 2 4 を用いて束ねられている。

【 0 0 2 9 】

光ファイバ OF_1 、 OF_2 、…は、例えば、2 m 程度の長さを有するシングルモード又はマルチモードファイバであり、樹脂系材料を含む粘度の低い部材（被覆材 2 3）で覆われている。光ファイバを伝搬する間に超音波を減衰させるためには、2 m という長さは効果的であるが、光ファイバを上記の部材で被覆することにより、超音波の伝搬エネルギー損失をさらに大きくして超音波減衰を早めることができる。

【 0 0 3 0 】

ここで、光ファイバ OF_1 、 OF_2 、…中を伝送される光は、該光ファイバから出射する際に回折する。このため、光ファイバ OF_1 、 OF_2 、…を超音波検出素子 2 0 に直接接続すると光が拡散してしまい、超音波検出素子内で十分な干渉が生じなくなる。このため、検出感度が著しく悪くなってしまう。この現象を避け

るため、光ファイバ OF_1 、 OF_2 、…の一端には、出射光の拡散を防止するためにコリメートレンズ14aがそれぞれ接続されている。

【0031】

コリメートレンズ14aとしては、グラディアントインデックスレンズ (gradient index lens、以下GRINレンズと略す) が用いられる。GRINレンズは、例えば、セルフオック (Selfoc: 日本板硝子株式会社の登録商標) レンズという製品名で知られている。GRINレンズは、位置によって異なる屈折率を有する屈折率分布型レンズであり、その長さを変えることによって光学特性が変化する。例えば、GRINレンズを物体像面間距離 (光が正立に結像するピッチ) の $1/4$ の長さにすると、入射光が平行光となって出射される。

【0032】

本実施形態においては、セルフオックレンズが多数配列されたセルフオックレンズアレイNA0.46 (日本板硝子株式会社の製品) を、 $0.25L$ の長さ (L は、物体像面間距離) で使用し、それぞれのセルフオックレンズをコリメートレンズ14aとして光ファイバに接続している。

【0033】

図5に示すように、コリメートレンズ14aを被覆材23によって覆っても良い。光ファイバ OF_1 、 OF_2 、…におけるのと同様に、超音波を早く減衰させるためである。

【0034】

光ファイバとコリメートレンズ、又は、コリメートレンズと超音波検出素子は、融着又は接着剤を用いて接続される。接着剤を用いる場合には、エポキシ系を含む樹脂系接着剤を用いることが望ましい。このような接着剤においては、音響インピーダンスが光ファイバ及びコリメートレンズの部材や超音波検出素子の基板と近似しているため、超音波が伝搬する際にそれぞれの部材の境界において反射するのを抑制できるからである。また、複数の光ファイバを束ねるための接着剤24としても、エポキシ系を含む樹脂系接着剤を用いることが望ましい。超音波を減衰させ、隣接する光ファイバ間における超音波のクロストークを防ぐと共に、ケーブルとしての柔軟性を保つことができるからである。本実施形態におい

ては、このような接着剤として、STYCAST (Emerson & Cuming社の製品) を用いている。

【0035】

次に、本実施形態に係る超音波受信装置の動作について、図1～3、図6、及び、図7を参照しながら説明する。図6は、本実施形態に係る超音波受信装置の動作を示すフローチャートである。

【0036】

まず、超音波を受信する前に、キャリブレーションを行う。ここで、超音波検出素子は、温度や湿度等の周囲の環境に対して非常に敏感であり、光の反射特性が変化しやすい。例えば、ブラッググレーティングを用いた超音波検出素子の反射光の中心波長は、 $0.01\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ の割合で変化する。また、2次元検出面を有する超音波検出素子においては、検出面の微小領域ごとに構造的なバラツキがある。このような環境的又は構造的な要因による感度の変化を低減するために、事前にキャリブレーションを行う。なお、このキャリブレーションは、超音波の受信を開始した後に、随時行っても良い。

【0037】

ステップS1において、超音波受信装置を駆動する。これより、例えば、図7の(a)に示すようなスペクトル特性を有するブロードバンド光が、光源10から出射する。図2に示すように、光源10から出射した光は、コリメートレンズ12a、分波器11、コリメートレンズ12bを通過し、1ライン上に配列されている光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ に入射する。各光ファイバを介して伝送された光は、超音波検出素子20の各微小領域に入射し、各微小領域の反射特性に対応して反射した光が光ファイバから出射する。光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ から出射した光線 $L_1 \sim L_M$ は、再び、コリメートレンズ12bを通過し、分波器11によって反射され、分光器30に入射する。光線 $L_1 \sim L_M$ は、分光器30に含まれる分光素子 $S_1 \sim S_M$ において並列に分光され、それぞれの分光光が、キャリブレーション用光電変換器40のそれぞれの列に含まれる複数の光電変換素子に、波長に応じて入射する。

【0038】

これにより、ステップ S 2 において、光線 $L_1 \sim L_M$ に対応するキャリブレーション用光電変換器 4 0 のそれぞれの列から、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に対応する複数の光電変換素子の検出信号が得られる。図 1 に示すように、この検出結果は分光器角度調整部 3 1 に入力される。

【 0 0 3 9 】

図 7 の (b) は、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の第 m 列に含まれる複数の光電変換素子から出力された検出信号に基づいて得られたグラフである。即ち、このグラフは、光ファイバ OF_m を通過し、これに対応する超音波検出素子の微小領域から反射された光線 L_m のスペクトル分布を表している。図 7 の (b) に示すように、光線 L_m は、ブラッグの反射条件によって選択的に反射される波長 λ_X において、最も高い強度を有している。

【 0 0 4 0 】

図 7 の (c) は、光線 L_m に対応する超音波検出素子の微小領域におけるブラッググレーティングの反射特性を示している。先にも述べたように、ブラッググレーティングの反射特性においては、最も反射率の高い（透過率の低い）中心波長 λ_X の前後に反射率が急峻に変化する傾斜帯域 $\Delta \lambda$ がある。超音波を印加してブラッググレーティングの構造の変化を観察すると、この傾斜帯域 $\Delta \lambda$ の分光領域において、大きな強度変化が観察される。これは、図 7 の (b) 及び (c) において、 λ_n によって表されている。

【 0 0 4 1 】

即ち、光線 L_m に対応する超音波検出素子の微小領域については、波長 λ_n を中心波長とする分光領域の光が最も大きな強度変化を示す。従って、超音波を受信する際に、この分光領域の光を検出信号として用いることにより、最も高い検出感度を得ることができる。

【 0 0 4 2 】

ステップ S 3 において、分光器角度調整部 3 1 は、事前検出の結果に基づいて、それぞれの光線 $L_1 \sim L_M$ について所定の波長を有する分光光が信号検出用光電変換器 5 0 に入射するように、分光素子 $S_1 \sim S_M$ の角度をそれぞれ調整する。図 3 に示すように、例えば、光線 L_m については、波長 λ_n を有する分光光が信号検

出用光電変換器 5 0 の第 m 番目の光電変換素子に入射するように、分光素子 S_m の角度が調整される。これにより、光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ から出射する光線 $L_1 \sim L_M$ について、反射特性の傾斜帯域に中心波長を有する分光領域の光が、信号検出用光電変換器 5 0 の対応する光電変換素子にそれぞれ入射するようになる。

【 0 0 4 3 】

次に、超音波の受信を行う。

ステップ S 4 において、超音波受信装置を駆動する。これにより、光源から出射したブロードバンド光は、光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ を通って超音波検出素子 2 0 の微小領域に入射する。それぞれの微小領域から反射された光線 $L_1 \sim L_M$ は、分光器 3 0 において分光され、それぞれの光線ごとに所定の波長を有する分光光が信号検出用光電変換器 5 0 に入射する。

【 0 0 4 4 】

この状態で、超音波検出素子 2 0 に超音波を印加する（ステップ S 5）。それにより、超音波検出素子 2 0 の各微小領域において周期構造のピッチが変化し、信号検出用光電変換器 5 0 に含まれるそれぞれの光電変換素子から出力される検出信号は、大きな強度変化を示す。

【 0 0 4 5 】

次に、ステップ S 6 において、信号検出用光電変換器 5 0 に含まれる複数の光電変換素子から出力される検出信号を取得する。さらに、これら検出信号を処理して反射光の強度変化を超音波の強度に換算する。これにより、超音波検出素子の各微小領域に印加された超音波の強度が 2 次元的に測定される。

【 0 0 4 6 】

次に、本発明の第 2 の実施形態に係る超音波受信装置について説明する。図 8 は、本実施形態に係る超音波受信装置の構成を示すブロック図である。

本実施形態に係る超音波受信装置は、図 1 に示す超音波受信装置における分光器 3 0 の替わりに分光器 6 0 を有し、分光器角度調整部 3 1 の替わりにミラー 6 1 及びミラー角度調整部 6 2 を有している。その他の構成については、図 1 及び図 2 に示す超音波受信装置と同様である。

【 0 0 4 7 】

分光器 6 0 は、例えば、回折格子やプリズムによって構成され、入射光を波長に応じて異なる方向に出射する。本実施形態においては、第 1 の実施形態におけるのと異なり、分光器 6 0 が複数の分光素子に分割されている必要はなく、分光器の角度が固定されていても構わない。

【 0 0 4 8 】

ミラー 6 1 は、角度が可変である複数のミラー素子を含んでいる。これらのミラー素子は、光ファイバ $OF_1 \sim OF_M$ から出射される光線 $L_1 \sim L_M$ 、及び、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の複数の列にそれぞれ対応している。各ミラー素子は、分光器 6 0 によって分光された各光線の複数の分光光を入射角に応じて異なる方向に反射し、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の各列に含まれる複数の光電変換素子にそれぞれ入射させる。

【 0 0 4 9 】

ミラー角度調整部 6 2 は、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の検出結果に基づいて、分光器 6 0 によって分光された分光光の内、所定の波長を有する分光光が信号検出用光電変換器 5 0 に入射するように、ミラー 6 1 に含まれるそれぞれのミラー素子の角度を調整する。

【 0 0 5 0 】

本実施形態に係る超音波受信装置の動作において、分光光の角度調整は次のようにして行われる。まず、キャリブレーションにおいて、超音波検出素子 2 0 の各微小領域に接続されている光ファイバを通して伝送された光は、分光器 6 0 において分光され、これにより、複数の分光光が波長に応じて異なる方向に出射する。これらの分光光は、ミラー 6 1 に含まれるミラー素子に反射し、キャリブレーション用光電変換器 4 0 の 1 つの列に含まれる複数の光電変換素子に、波長成分ごとに入射して検出される。このキャリブレーション用光電変換器 4 0 の検出結果は、ミラー角度調整部 6 2 に入力される。ミラー角度調整部 6 2 は、入力された検出結果に応じて、所定の波長を有する分光光が信号検出用光電変換器 5 0 に入射するように、ミラー素子の角度を調整する。なお、超音波信号の検出に用いられる分光光を選択する原理については、本発明の第 1 の実施形態と同様である。また、本実施形態に係る超音波受信装置のその他の動作については、図 6 を

用いて説明したのと同様である。

【0051】

本実施形態によれば、ミラー素子の角度を調整することにより、超音波の検出に用いられる分光光の進行方向を調節する。このため、分光器を固定しておくことができるので、微妙な角度調整に適さない分光器でも使用することができ、使用できる分光器の選択肢が広がる。また、分光光の出射角は分光器の特性と波長によって決定されるが、例えば、ミラー素子の曲率を調節することにより、複数の分光光の進行方向をキャリブレーション用光電変換器40における光電変換素子の配置に合わせて調整することも可能になる。

【0052】

以上説明したように、第1及び第2の実施形態においては、分光器やミラーの角度を調整することにより、所定の波長を有する分光光が信号検出用光電変換器に入射するように分光光の光学的経路を調整したが、同様の作用をもたらす構成であれば、これらの実施形態に限定されず本発明に適用することができる。例えば、信号検出用光電変換器に含まれる光電変換素子の位置をそれぞれ制御する手段を設け、分光器から出射する分光光の進行方向を変更しないで光電変換素子の位置を変更することにより、信号検出の対象となる分光光が光電変換素子に入射させるようにしても良い。或いは、分光器としてAWGを用いて複数の分光光を平行に出射させ、AWG又は光電変換素子を相対的に平行移動させることにより、所定の波長を有する分光光を光電変換素子に入射させるようにしても良い。

【0053】

次に、本発明の第3の実施形態に係る超音波受信装置について、図9を参照しながら説明する。本実施形態に係る超音波受信装置は、図2に示す超音波検出素子20の替わりに、図9に示す超音波検出素子（エタロンセンサ）70を用いるものである。その他の構成については、図1及び図2を用いて説明したのと同様である。

【0054】

図9に示すように、基板71は、超音波によって変形する膜状の基板である。基板71に対向して、基板72が配置されており、これらはエタロンと同様の構

造を形成している。

【0055】

基板71及び72の反射率をR、これらの基板の間隔をdとし、入射光の波長を λ とすると、エタロンの透過率は次のように表される。ただし、nは任意の整数である。

$$T = \{1 + 4R / (1 - R)^2 \cdot \sin^2(\phi / 2)\}^{-1} \quad \dots (3)$$

$$\phi = 2\pi / \lambda \cdot 2nd \cdot \cos \theta \quad \dots (4)$$

ここで、 θ は出射面の垂線から測った出射角であり、 $\theta = 0$ とすると次の式のようになる。

$$\phi = 4\pi nd / \lambda \quad \dots (5)$$

エタロンは、波長 λ の光を透過率Tで透過し、反射率 $R = (1 - T)$ で反射する。

【0056】

超音波検出素子70に超音波を伝搬させると、基板71が歪み、受信面の各位置において基板71及び72の間隔dが変化するので、波長 λ の光の反射率が変化する。そこで、図6を用いて説明したのと同様に、キャリブレーションを行い、反射特性の変化率の大きい領域に中心波長を有する光が検出されるように分光光の出射角を調整し、ブロードバンド光を入射させながら基板71に超音波を印加する。これにより、受信面の各位置における超音波の強さに応じた反射光の強度変化を観測できる。この反射光の強度変化を超音波の強度に換算することにより、超音波の強度を2次元的に計測することができる。

【0057】

次に、本発明の第4の実施形態に係る超音波受信装置について、図10を参照しながら説明する。本実施形態においては、図2に示す超音波検出素子20、光伝送路13、及び、コリメート部14の替わりに、図10の(a)に示すように、超音波有感部を有するバンドルファイバ80を用いている。その他の構成については、図1及び図2を用いて説明したのと同様である。

【0058】

図10の(b)に、バンドルファイバ80に含まれる1本のファイバ80aの

構成を示す。このファイバ80aは、光ファイバ81aとコリメートレンズ82aとを含んでいる。本実施形態においては、第1の実施形態におけるのと同様に、コリメートレンズ82aとして、0.25Lの長さを有するセルフオックレンズを用いている。また、両者は、融着又はエポキシ系を含む樹脂系接着剤によって接続されている。

【0059】

コリメートレンズ82aの一端には、2種類の材料層が交互に積層された多層膜83aが形成されている。この多層膜83aが、ブラッググレーティング構造を構成し、超音波有感部として作用する。多層膜83aの材料としては、例えば、 SiO_2 と酸化チタン(Ti_2O_3)との組み合わせや、 SiO_2 と酸化タンタル(Ta_2O_5)との組み合わせ等が用いられる。このような材料層は、コリメートレンズ82a上に、蒸着によって形成されている。

【0060】

ファイバ80aは、ファイバ80aの一端に伝搬した超音波が他端において反射する前に超音波が減衰してしまうように、粘度の低い部材(被覆材84a)によって覆われている。さらに、図10の(b)に示すように、被覆材84aがコリメートレンズ82aまで覆うようにしても良い。これにより、ファイバ80aに伝搬した超音波のエネルギー損失を大きくすることができるので、超音波を早く減衰させてバッキング部としての効果を上げることができる。

このようなファイバ80a、80b、…を、エポキシ系を含む樹脂系接着剤を用いて多数束ねることにより、超音波有感部を有するバンドルファイバ80が作製される。

【0061】

以上説明した第1～第4の実施形態においては、光増幅器を付加することによって超音波検出性能を向上させることができる。この変形例について、図11を参照しながら説明する。

【0062】

図11に示す超音波受信装置は、図1に示す超音波受信装置に、光増幅器15と光増幅器16との内の少なくとも一方を追加したものである。光増幅器15は

、コリメートレンズ 1 2 a と分波器 1 1 の間に配置され、コリメートレンズ 1 2 a から入射した平行光を増幅して分波器 1 1 に出射する。一方、光増幅器 1 6 は、分波器 1 1 と分光器 3 0 の間に配置され、分波器 1 1 から入射した光を増幅して分波器 3 1 に出射する。

【 0 0 6 3 】

光増幅器としては、例えば、エルビウム (E r) をドープした光ファイバ増幅器 E D F A (Er-doped optical fiber amplifier) が使用される。この E D F A は、光の強度を約 1 桁から 2 桁上昇させることができる。

【 0 0 6 4 】

このような光増幅器を、光源 1 0 と超音波検出素子 2 0 との間に配置した場合には、超音波検出素子 2 0 に入射する入射光の強度が増幅される。また、光増幅器を超音波検出素子 2 0 と分光器 3 0 との間に配置した場合には、超音波検出素子 2 0 に入射する入射光の強度は変化しないが、光電変換器 4 0 又は 5 0 に入射する反射光の強度が増幅される。この場合には、受信した超音波によって変調された反射光の強度変化も増幅されることになる。

【 0 0 6 5 】

いずれにしても、光の状態で強度を増幅することにより光電変換器 4 0 又は 5 0 に入射する反射光の光量が増加するので、光電変換器 4 0 又は 5 0 における電気的なノイズの影響を低減し、超音波受信装置の S N 比を向上させることができる。さらに、両者を併用する場合には、より一層の S N 比の向上が実現可能である。

【 0 0 6 6 】

次に、本発明の第 1 ～第 4 の実施形態に係る超音波受信装置を適用した超音波撮像装置について説明する。図 1 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置を適用した超音波撮像装置の構成を示すブロック図である。なお、本発明の第 2 ～第 4 の実施形態に係る超音波受信装置についても、図 1 2 に示すのと同様に超音波撮像装置に適用することができる。

【 0 0 6 7 】

図 1 2 に示すように、超音波検出部 9 0 は、本発明の第 1 の実施形態における

超音波検出素子 2 0 を含んでおり、光伝送路を介してコリメートレンズ 1 2 b に接続されている。超音波検出部 9 0 には、光源から発生し、分波器 1 1 を通過した光が入射している。キャリブレーションを行う際には、超音波検出素子 2 0 において反射された光は、コリメートレンズ 1 2 b や分波器 1 1 を介して分光器 3 0 に入射し、キャリブレーション用光電変換器 5 0 に入射する。これにより、超音波の検出に用いられる波長成分を有する分光光が選択される。

【 0 0 6 8 】

また、この超音波撮像装置は、超音波送信部 9 1 と駆動信号発生回路 9 2 とを含んでいる。超音波送信部 9 1 は、駆動信号発生回路 9 2 から発生する駆動信号に基づいて超音波を送信する。超音波送信部 9 1 は、例えば、圧電素子に電極を形成した振動子によって構成される。圧電素子は、P Z T (チタン酸ジルコン酸鉛: Pb(lead) zirconate titanate) に代表される圧電セラミックや、P V D F (ポリフッ化ビニリデン: polyvinyl difluoride) 等の高分子圧電素子に代表される圧電性を有する材料等を含んでいる。振動子の電極に、駆動信号発生回路 9 2 からパルス状の電気信号或いは連続波電気信号を送って電圧を印加すると、圧電素子は微少な機械的振動を生じる。このような機械的振動により、超音波パルス或いは連続波超音波が発生する。

【 0 0 6 9 】

超音波送信部 9 1 から送信された超音波は、診断対象によって反射され、超音波検出部 9 0 に受信される。これにより、超音波検出部 9 0 に入射している光が、超音波検出部 9 0 に印加される超音波に基づいて変調されて反射される。反射された光は、コリメートレンズ 1 2 b や分波器 1 1 を介して分光器 3 0 に入射し、キャリブレーションにおいて選択された波長成分を有する分光光が信号検出用光電変換器 5 0 に入射する。

【 0 0 7 0 】

また、この超音波撮像装置は、タイミングコントロール部 1 0 0 と、信号処理部 1 1 0 と、A / D 変換器 1 2 0 と、1 次記憶部 1 3 0 と、画像処理部 1 4 0 と、画像表示部 1 5 0 と、2 次記憶部 1 6 0 とを含んでいる。

信号検出用光電変換器 5 0 に含まれる複数の光電変換素子からそれぞれ出力さ

れる検出信号は、信号処理部 1 1 0 において位相調整、対数増幅、検波等の処理を施され、さらに、A/D変換器 1 2 0 においてディジタル信号に変換される。

【 0 0 7 1 】

1 次記憶部 1 3 0 は、変換されたデータに基づく複数枚の面データを記憶する。画像処理部 1 4 0 は、それらのデータに基づいて、2 次元データ又は 3 次元データを再構成すると共に、補間、レスポンス変調処理、階調処理等の処理を施す。画像表示部 1 5 0 は、例えば、CRT や LCD 等のディスプレイ装置であり、これらの処理を施された画像データに基づいて画像を表示する。さらに、2 次記憶部 1 6 0 は、画像処理部 1 4 0 において処理されたデータを記憶する。

【 0 0 7 2 】

タイミングコントロール部 1 0 0 は、所定のタイミングで駆動信号を発生するように駆動信号発生回路 9 2 を制御すると共に、送信時刻から一定時間経過後に信号検出用光電変換器 5 0 から出力される検出信号を取り込むように、信号処理部 1 1 0 を制御する。このように、駆動信号及び検出信号をコントロールすることにより、読み取る時間帯を限定し、被写体の特定の深さからの超音波の反射を光検出することができる。

このような超音波撮像装置において、超音波検出部 9 0 と超音波送信部 9 1 とは、別々に設けても良いし、これらを一体化させることにより、超音波用探触子を形成しても良い。

【 0 0 7 3 】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、キャリブレーションによって求められた超音波検出素子の反射特性に基づいて、ブロードバンド光の分光光の中から超音波の検出に用いる光の波長を検出領域ごとに選択するので、温度や湿度等の環境によって反射特性が変化しても、高い検出感度を維持することが可能である。また、同様に、超音波検出素子の検出領域ごとに感度のバラツキを抑えることも可能である。従って、光源光の波長や超音波検出素子の反射特性を制御する必要がなくなり、超音波受信装置の構成を簡単にして小型化することが可能になる。

【 0 0 7 4 】

さらに、本発明によれば、異なる 2 つの光電変換器を使い分けるので、それぞれの目的に対して最適な構成を取ることが可能になる。具体的には、広帯域な特性を把握するために低速処理の 2 次元光電変換器を用いてキャリブレーションを行い、それにより選択された分光光のみを高速処理の 1 次元光電変換器に入射させて検出している。これにより、超音波検出を行う際のリアルタイム性を維持しながら、コストダウンを図ることが可能になる。特に、1 次元光電変換器後段に設けられる信号処理回路は、1 次元光電変換器に含まれる光電変換素子数の分のみで足りるので、大幅にコストを低減することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】

図 1 に示す超音波受信装置に含まれる光学系を示す模式図である。

【図 3】

図 2 に示す光学系において、分光素子の角度が調整されている様子を示す模式図である。

【図 4】

図 2 に示す超音波検出素子の超音波検出原理を説明するための図である。

【図 5】

図 2 に示す超音波検出素子、コリメート部、及び、光伝送路の接続部分を拡大して示す断面図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置の動作を示すフローチャートである。

【図 7】

本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置の動作を説明するための図である。

【図 8】

本発明の第 2 の実施形態に係る超音波受信装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】

本発明の第 3 の実施形態に係る超音波受信装置の一部を示す模式図である。

【図 1 0】

本発明の第 4 の実施形態に係る超音波受信装置の一部を示す模式図である。

【図 1 1】

本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置の変形例を示すブロック図である。

【図 1 2】

本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置を適用した超音波撮像装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 0 光源
- 1 1 分波器
- 1 2 a、1 2 b、1 4 a コリメートレンズ
- 1 3 光伝送路
- 1 4 コリメート部
- 1 5、1 6 光増幅器
- 2 0、7 0 超音波検出素子
- 2 0 a 超音波受信面
- 2 1、7 1、7 2 基板

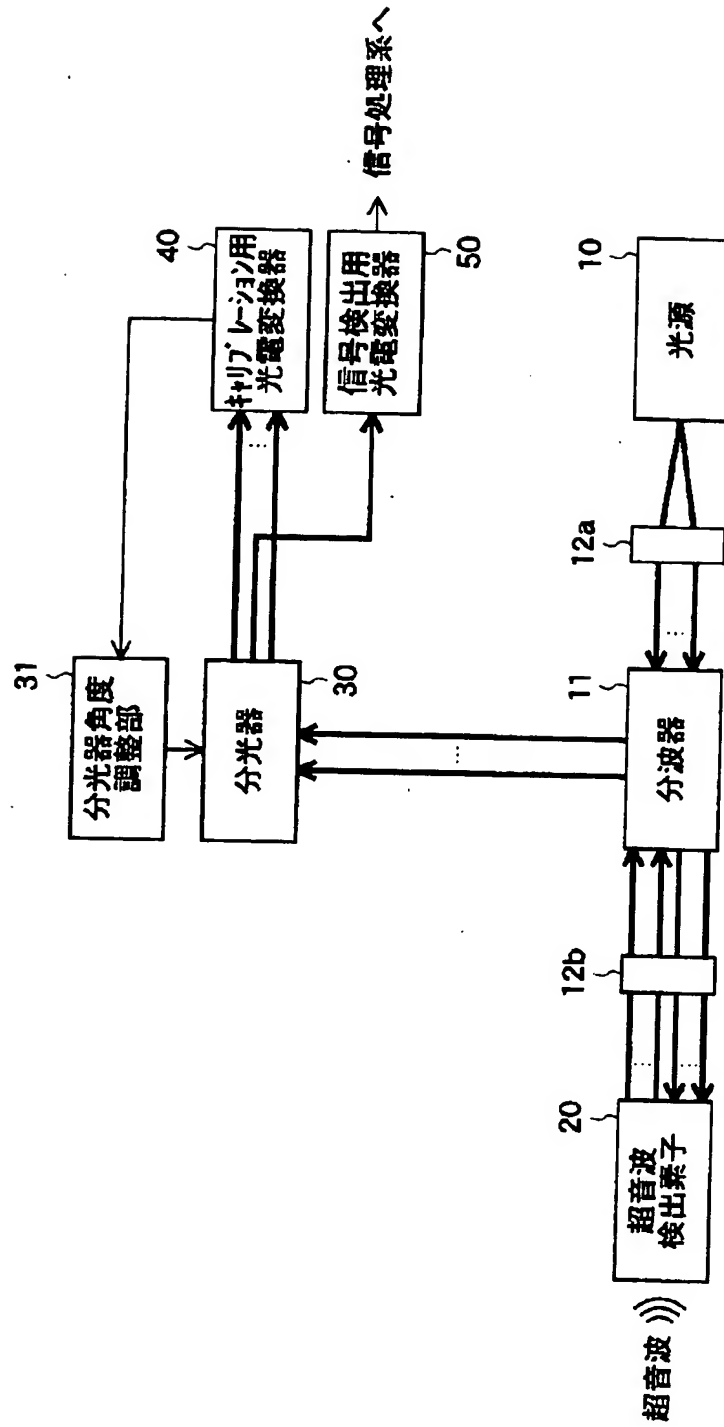
- 2 2、8 3 a、8 3 b、… 多層膜
- 2 3 被覆材
- 2 4 接着剤
- 3 0、6 0 分光器
- 3 1 分光器角度調整部
- 4 0 キャリブレーション用光電変換器

- 5 0 信号検出用光電変換器
- 6 1 ミラー
- 6 2 ミラー角度調整部
- 8 0 超音波有感部を有するバンドルファイバ
- 8 0 a、8 0 b、… ファイバ
- 8 1 a、8 1 b、…、 $OF_1 \sim OF_M$ 光ファイバ
- 8 2 a、8 2 b、… コリメートレンズ
- 8 4 a、8 4 b、… 被覆材
- 9 0 超音波検出部
- 9 1 超音波送信部
- 9 2 駆動信号発生回路
- 1 0 0 タイミングコントロール部
- 1 1 0 信号処理部
- 1 2 0 A/D変換器
- 1 3 0 1次記憶部
- 1 4 0 画像処理部
- 1 5 0 画像表示部
- 1 6 0 2次記憶部

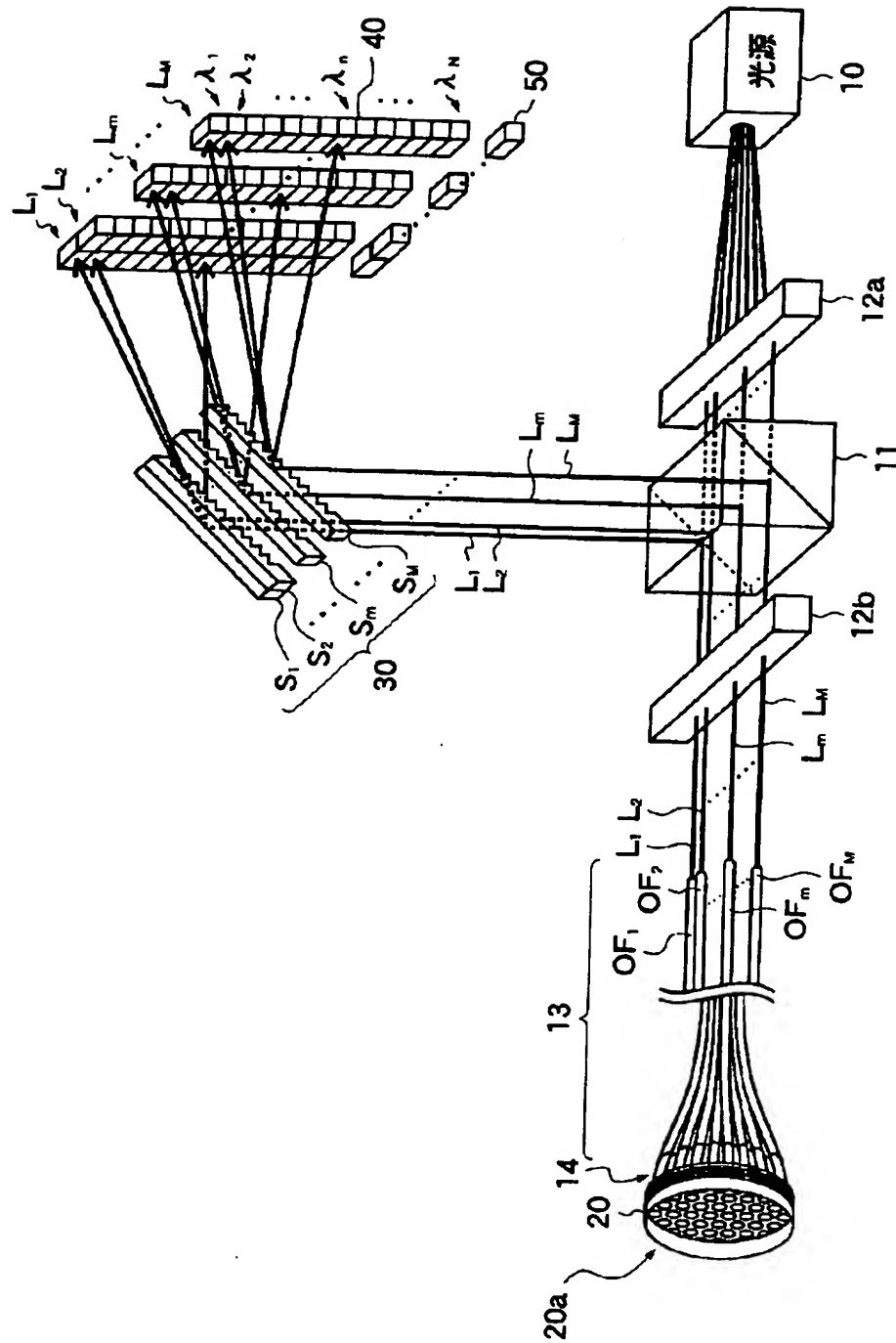
【書類名】

図面

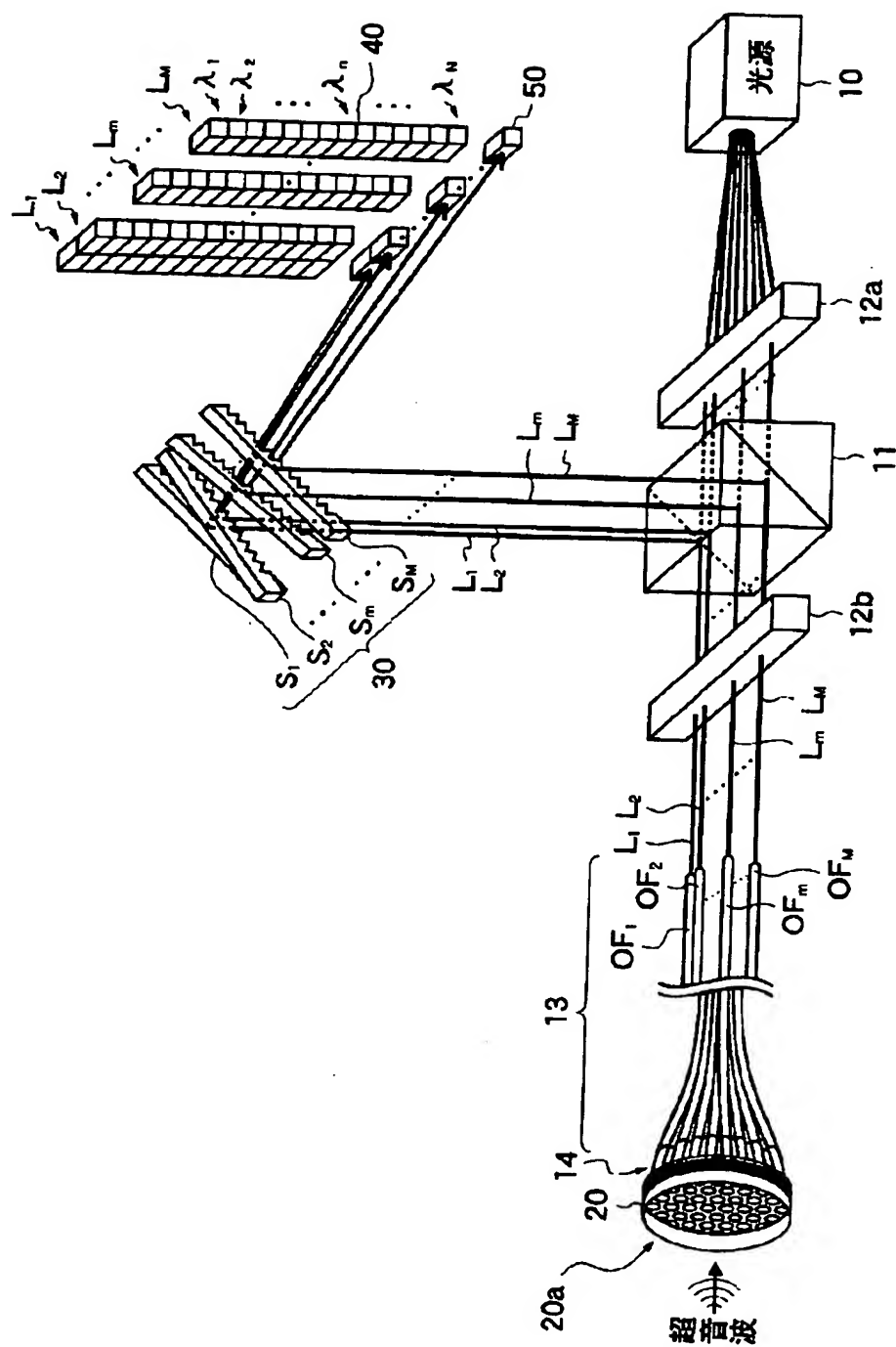
【図1】



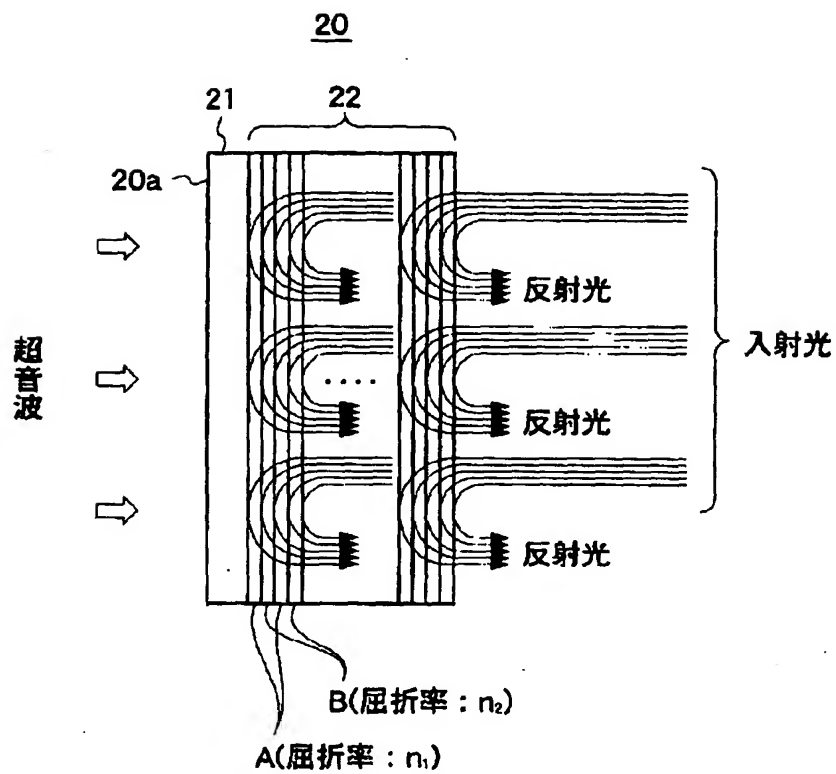
【図2】



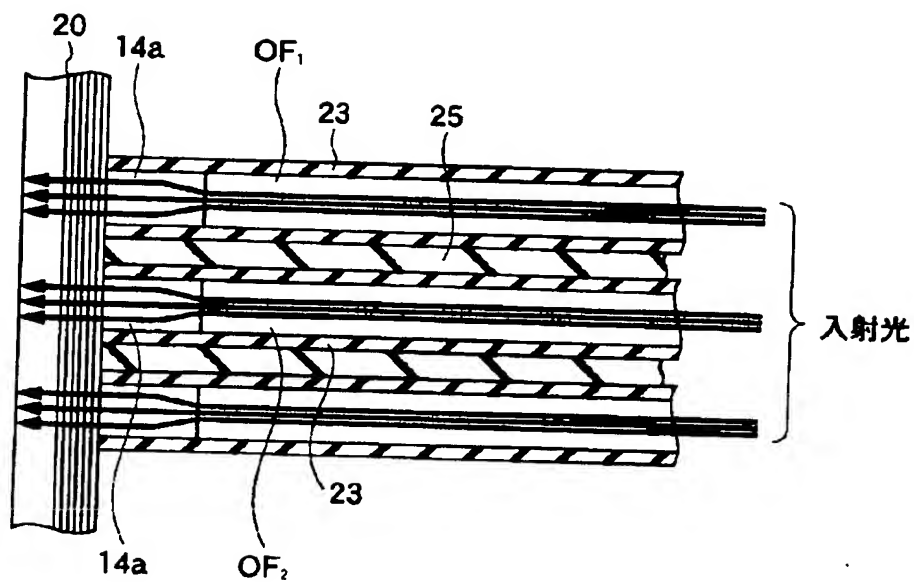
【図3】



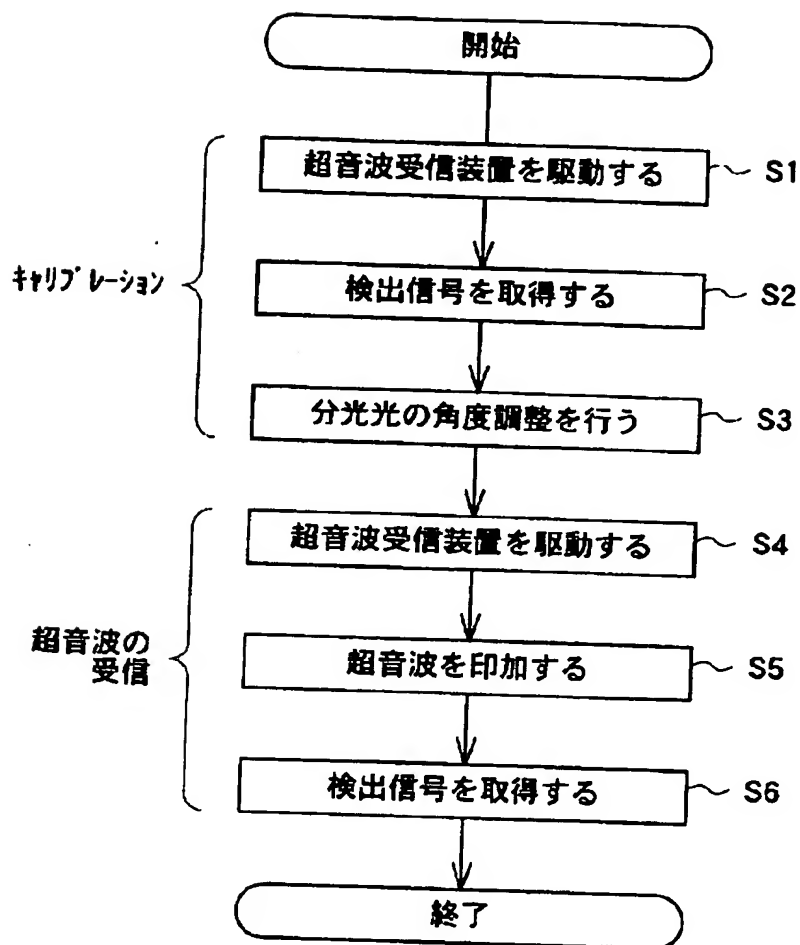
【図4】



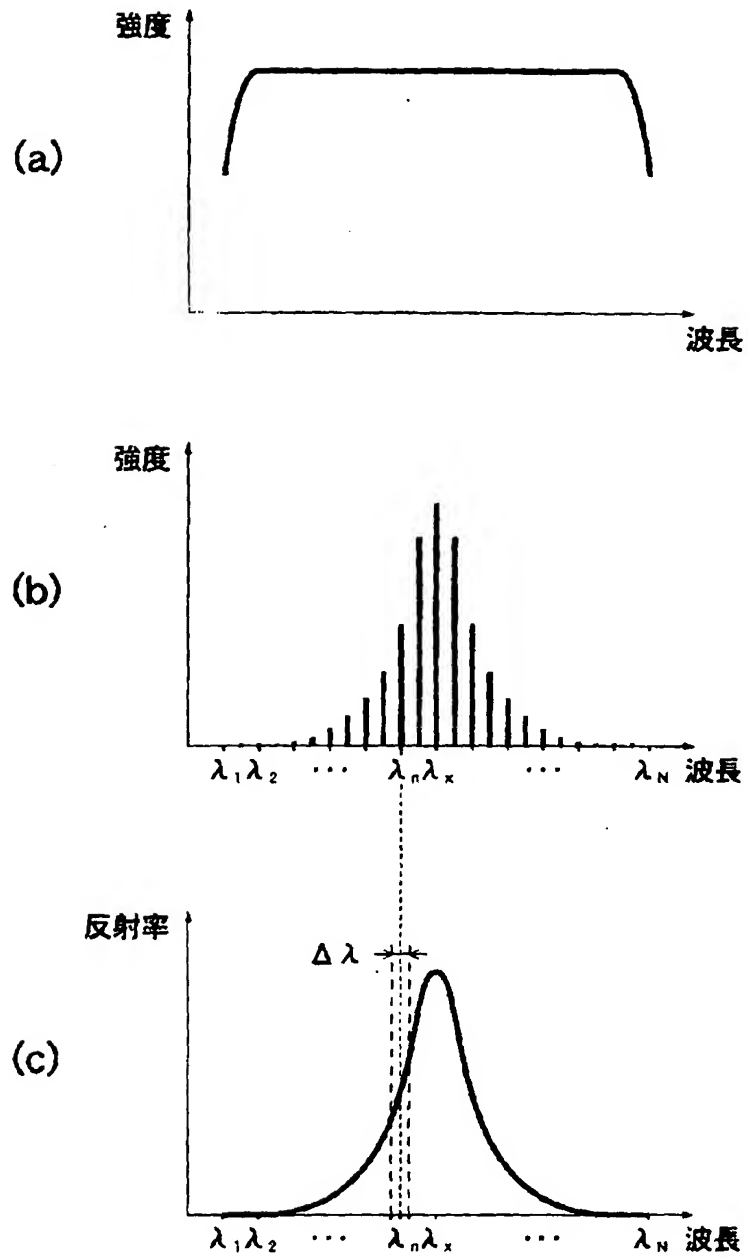
【図5】



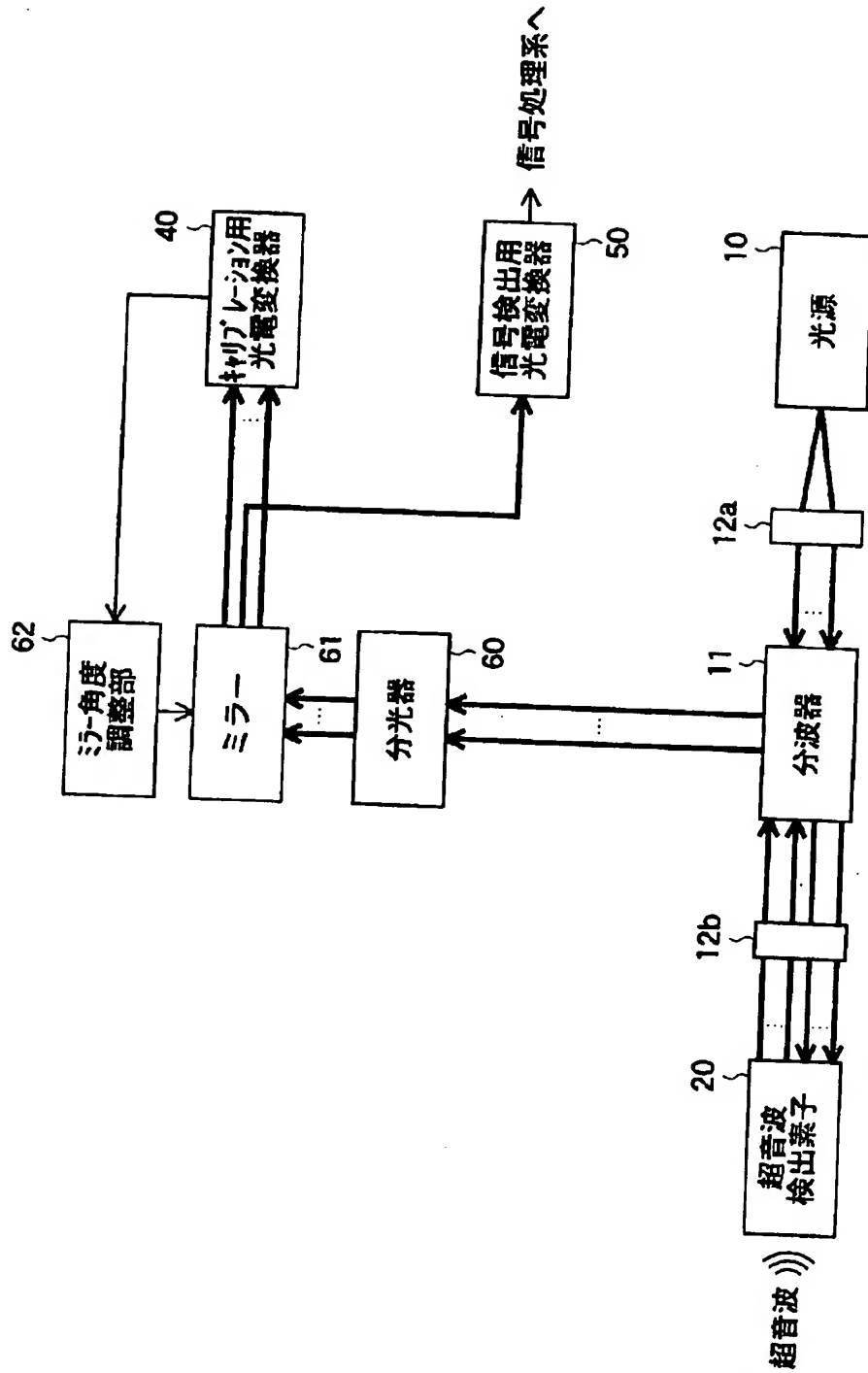
【図6】



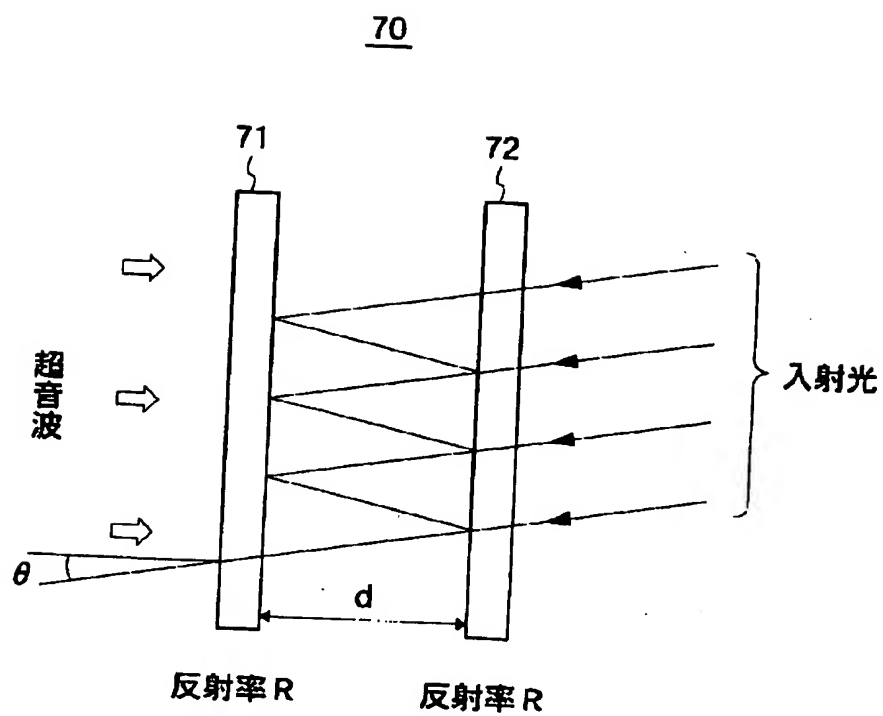
【図7】



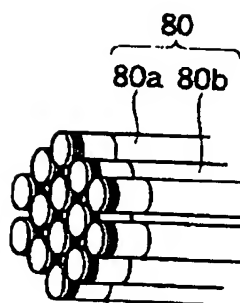
【図 8】



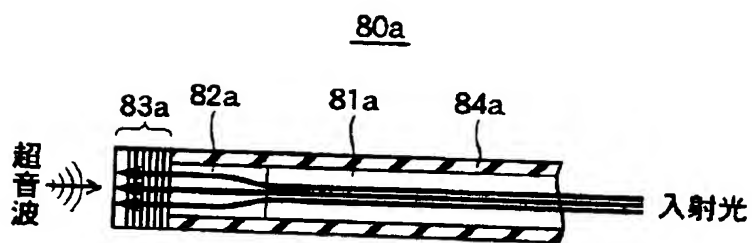
【图 9】



【図 1 0】

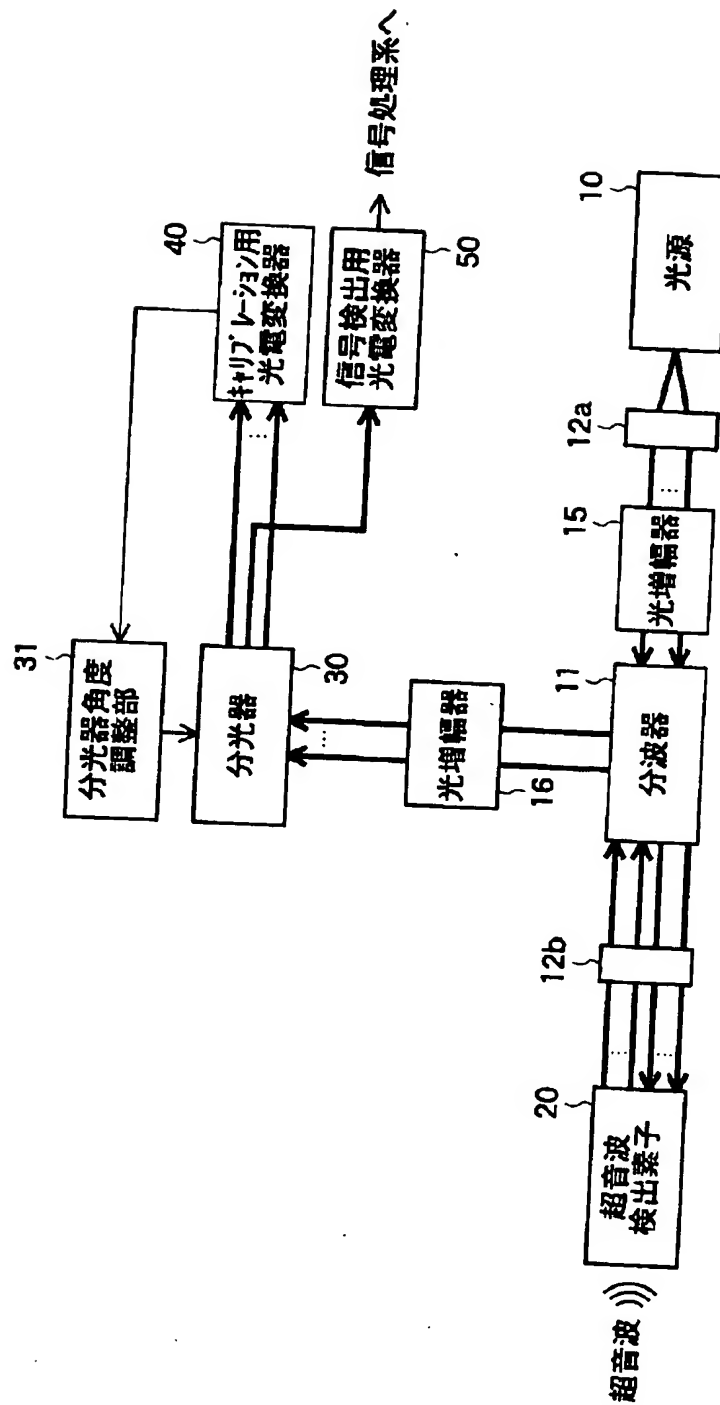


(a)

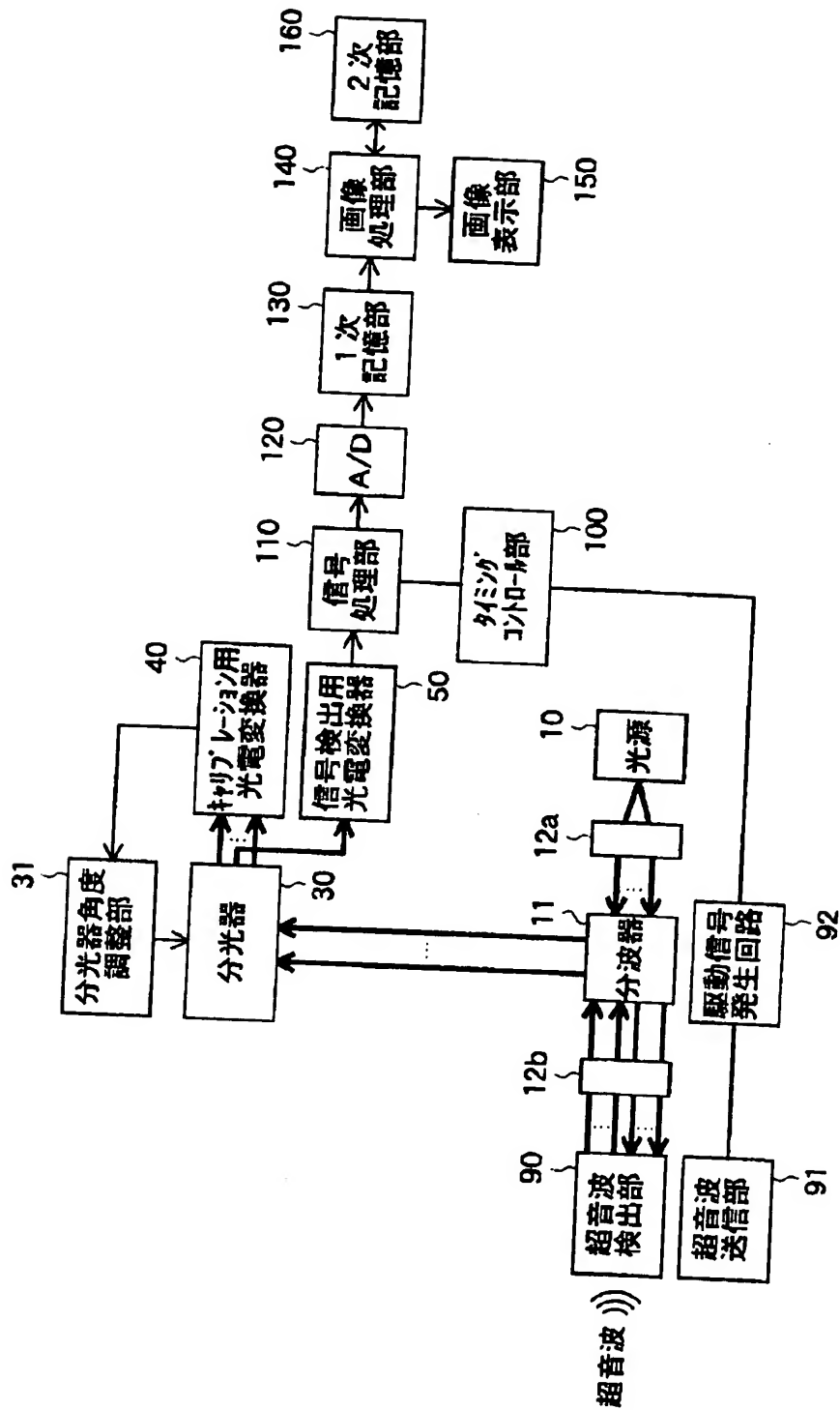


(b)

【図 1 1】



【図12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 温度等の環境変化による超音波検出感度の変化や、超音波検出素子の位置による検出感度のバラツキを低減することのできる超音波受信装置において、超音波を受信する際のリアルタイム性を維持しながらコストダウンを図る。

【解決手段】 ブロードバンド光を発生する光源と、印加される超音波に基づいて、光源が発生した光を変調して反射する超音波検出手段と、超音波検出手段から反射された光を波長に応じて異なる方向に出射する分光手段と、分光手段によって分光された光を複数の波長成分ごとに検出する複数の光電変換素子を有する第1の光検出手段と、第1の光検出手段の検出結果に基づいて、分光手段によって分光された光に含まれる所定の波長成分を検出する第2の光検出手段とを有する。

【選択図】 図1

特2002-252397

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-252397	
受付番号	50201292878	
書類名	特許願	
担当官	第一担当上席	0090
作成日	平成14年 9月 2日	

<認定情報・付加情報>

【提出日】

平成14年 8月30日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005201]

1. 変更年月日 1990年 8月14日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県南足柄市中沼210番地
氏 名 富士写真フイルム株式会社